

การบรรยายครั้งที่ 1

418441 คอมพิวเตอร์กราฟิกส์

คอมพิวเตอร์กราฟิกส์

- การใช้คอมพิวเตอร์เพื่อสร้างและจัดการสื่อวิทัศน์
- ประโยชน์
 - ความบันเทิง: ภาพยนตร์, เกมส์
 - การศึกษา: ซิมูเลชัน, สื่อประสม
 - อุตสาหกรรม: CAD/CAM

ปัญหาที่สำคัญทางคอมพิวเตอร์กราฟิกส์

- การจัดการแบบจำลอง (modeling)
 - การเก็บข้อมูลรูปร่าง สมบัติพื้นผิว แสง ฯลฯ ของวัตถุที่อยู่นิ่งๆ
- การจัดการความเคลื่อนไหว (animation)
 - การเก็บ สร้าง และดัดแปลงข้อมูลความเคลื่อนไหวของวัตถุต่างๆ
- การให้แสงและเงา (rendering)
 - การนำเอาข้อมูลแบบจำลองและความเคลื่อนไหวของแบบจำลองมาสร้างเป็นรูปภาพ

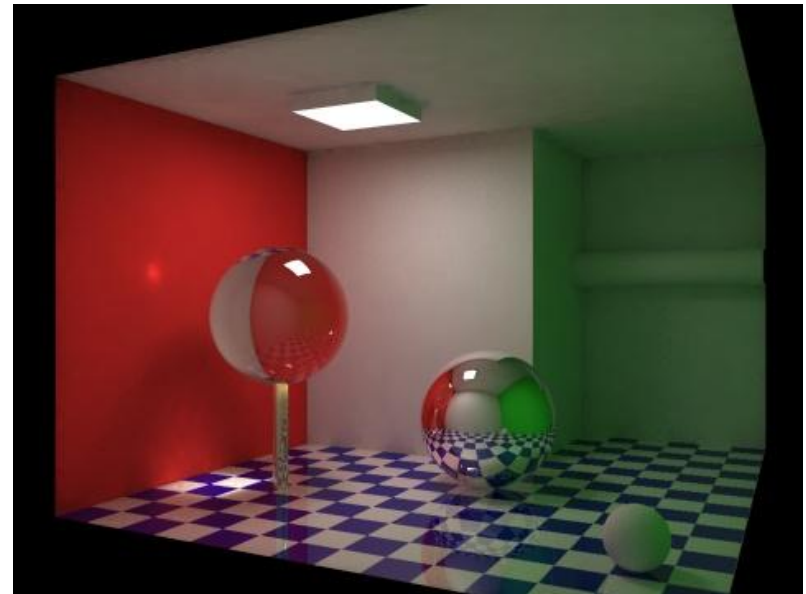
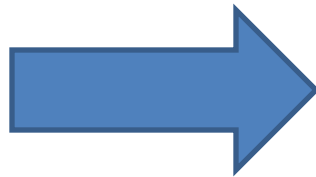
ปัญหาที่สำคัญทางคอมพิวเตอร์กราฟิกส์

- การจัดการแบบจำลอง
 - ยังไม่มีวิชาเฉพาะที่เกษตร
 - อาจจะเคยเรียนมาบ้างใน **418341 Computer Graphics Working Environment (ใน OpenGL)**
- การจัดการความเคลื่อนไหว
 - **418342 Principle of Computer Animation**
- การให้แสงและเงา
 - คอร์สนี้ (ขอโทษครับที่ชื่ออาจจะทำให้คุณเข้าใจผิดไป)

การให้แสงและเงา (Rendering)

- สร้างรูปภาพจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

```
40. 3765 246. 3446 -13. 3601
41. 7488 226. 0027 -5. 0658
48. 3294 235. 3752 -7. 3497
37. 2949 230. 1558 -9. 6773
46. 8526 239. 2049 -10. 7724
35. 0925 232. 2118 -10. 9210
49. 2234 231. 9015 -5. 4622
39. 5274 227. 7154 -6. 8570
36. 7923 240. 2518 -18. 0725
40. 9546 241. 5318 -16. 3400
53. 2942 227. 1024 -17. 4600
51. 4157 231. 8651 -20. 9840
45. 7685 234. 6469 -25. 0268
32. 3952 239. 7475 -5. 4070
36. 2495 235. 5937 -5. 3574
31. 0568 236. 1462 -9. 5742
34. 1015 253. 4861 -8. 2545
31. 5805 251. 6262 -9. 3695
33. 9048 256. 8511 -4. 1244
```



http://en.wikipedia.org/wiki/Global_illumination

Physically Based Rendering

- ให้แสงเงาให้สมจริงตามหลักฟิสิกส์



<http://en.wikipedia.org/wiki/Rendering>

Non-Photorealistic Rendering

- ให้สีไม่ตรงกับความเป็นจริงเพื่อความสวยงาม



The Legend of Zelda: The Wind Waker
http://en.wikipedia.org/wiki/Toon_shading

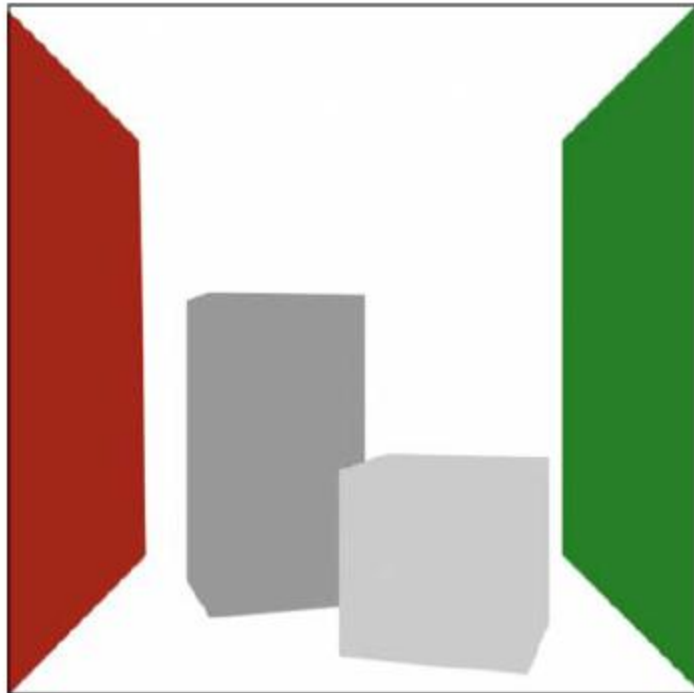
วิชานี้

- เน้น **Physically Based Rendering**
- เป็นวิชาเขียนโปรแกรม
 - คุณจะได้เขียนโปรแกรมสร้างภาพจากโมเดลสามมิติขึ้นมาเอง
- คุณจะได้เรียน
 - ทฤษฎีการสร้างภาพในเชิงคอมพิวเตอร์กราฟิกส์
 - อัลกอริทึมสำหรับสร้างรูปภาพต่างๆ (เน้น **Ray Tracing**)
 - โครงสร้างข้อมูลที่จะช่วยให้อัลกอริทึมเหล่านั้นทำงานได้อย่างรวดเร็ว

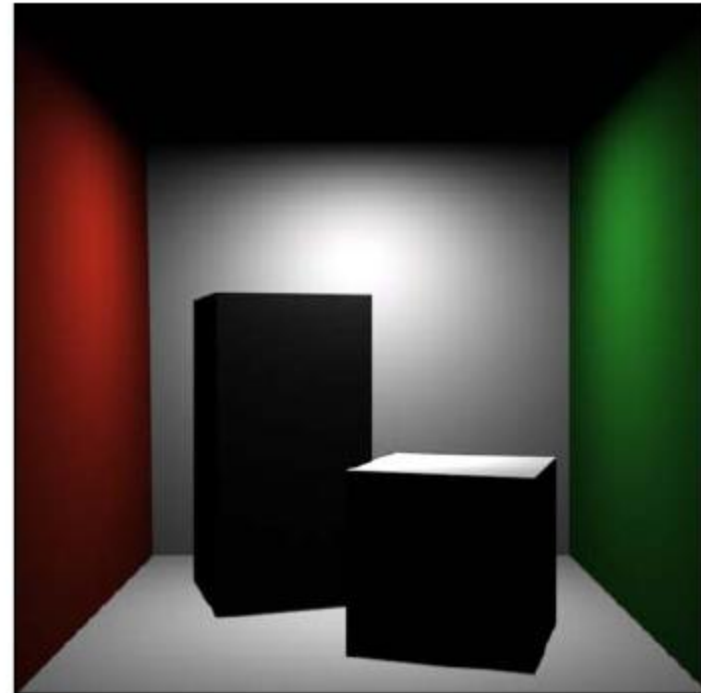
การทำ Physically Based Rendering

- ต้องจำลองการแพร่กระจายตัวของแสงในฉาก
- แก้สมการ **Rendering Equation**
 - แก้ได้อย่างสมบูรณ์ในฉากที่ไม่ซับซ้อนมากๆ เท่านั้น
 - นอกนั้นต้องแก้โดยประมาณ
- มีปรากฏการณ์หลายอย่างที่ ต้องจำลอง

Lighting: Diffuse Reflection

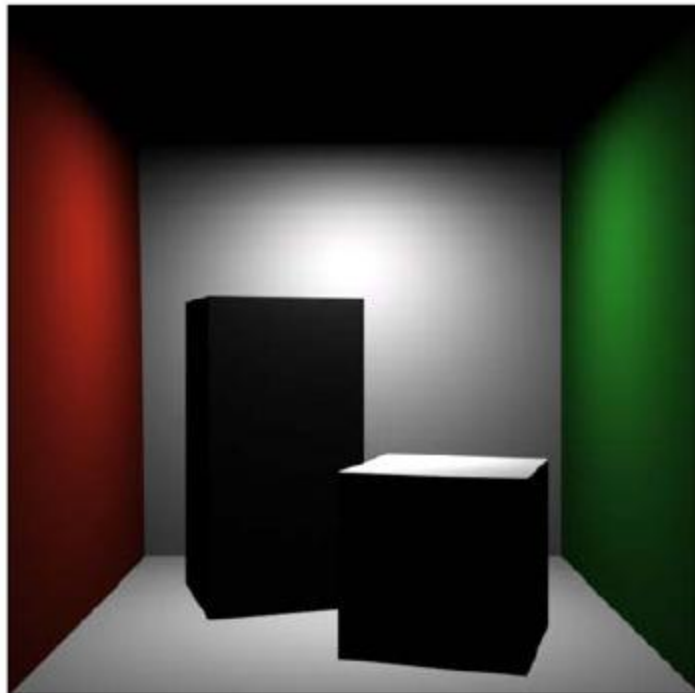


Surface Color

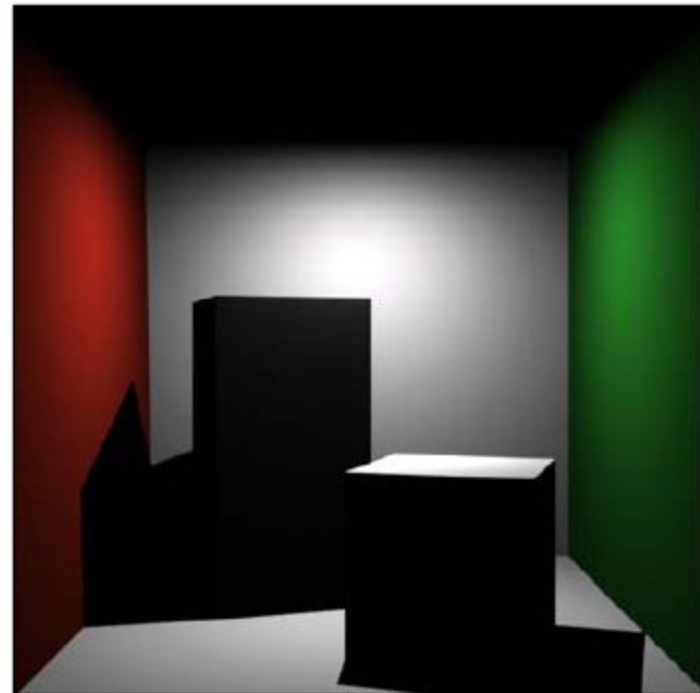


**Diffuse Shading
Point Light Source**

Lighting: Shadows

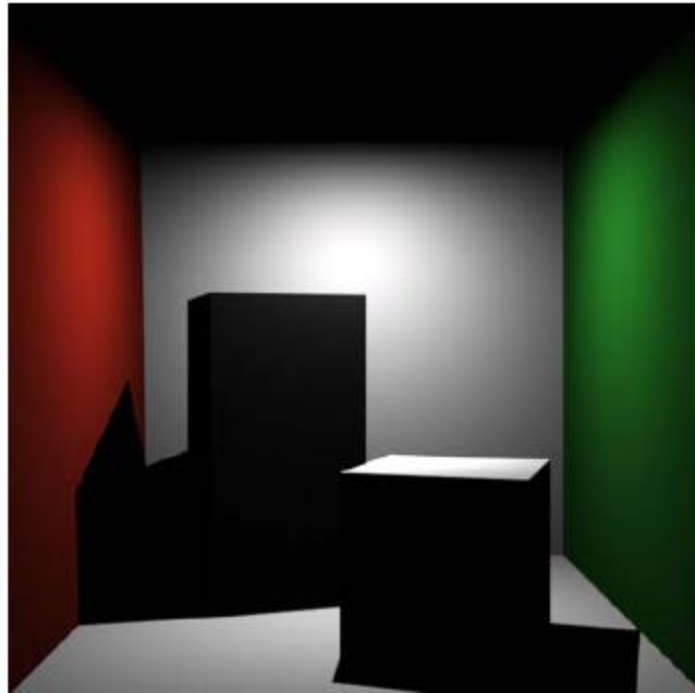


No Shadows
Point Light Source



Shadows
Point Light Source

Lighting: Soft Shadows



Hard Shadows
Point Light Source



Soft Shadows
Area Light Source

Lighting: Radiosity



**Soft Shadows
Area Light Source**



**Inter-reflection, Diffuse)
Area Light Source**

Early Radiosity

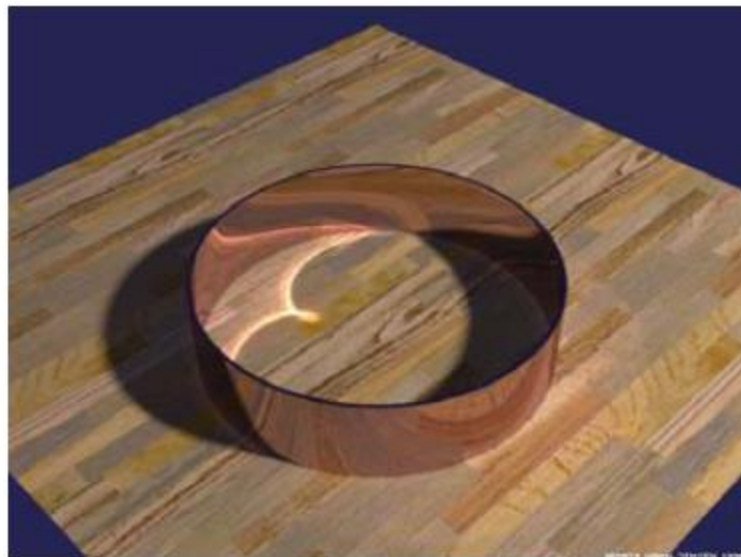


Early Diffuse+Glossy



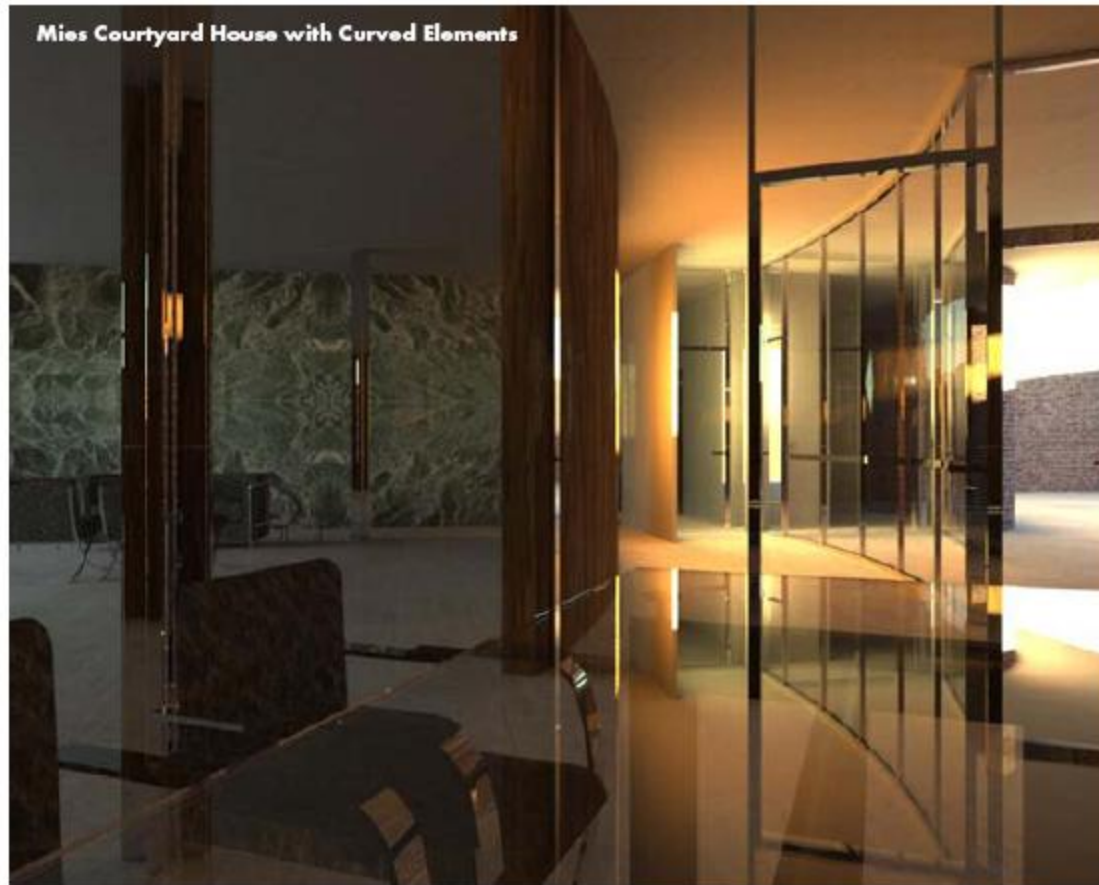
Tribute to Vermeer
Program of Computer Graphics, Cornell

Caustics



Jensen 1995

Complex Indirect Illumination



Modeling: Stephen Duck; Rendering: Henrik Wann Jensen

Translucency



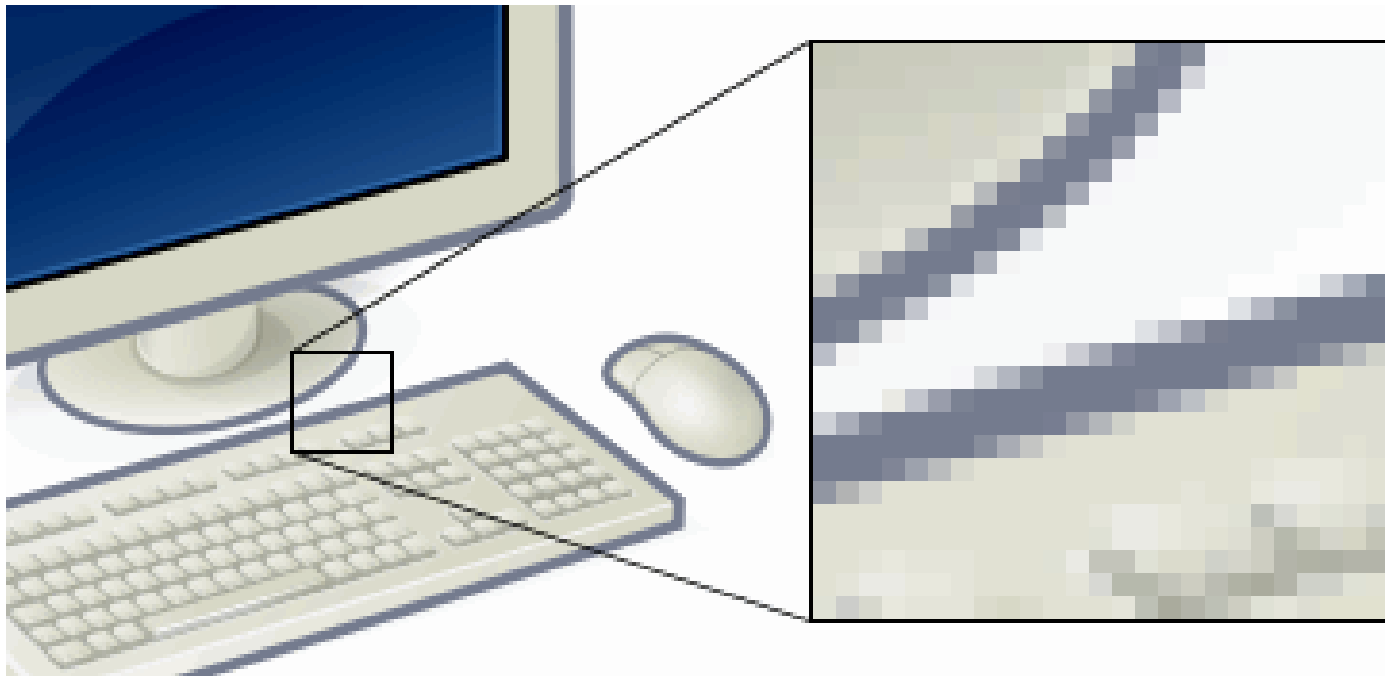
Surface Reflection



Subsurface Reflection

ภาพ

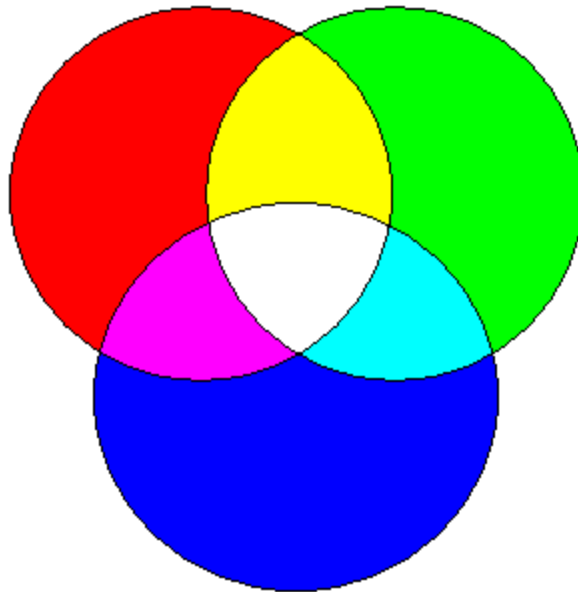
- ตารางสีเหลี่ยมผืนผ้า แต่ละช่องมีสีหนึ่งสี
- แต่ละช่องเรียกว่า พิกเซล (pixel)



<http://en.wikipedia.org/wiki/Pixels>

สี

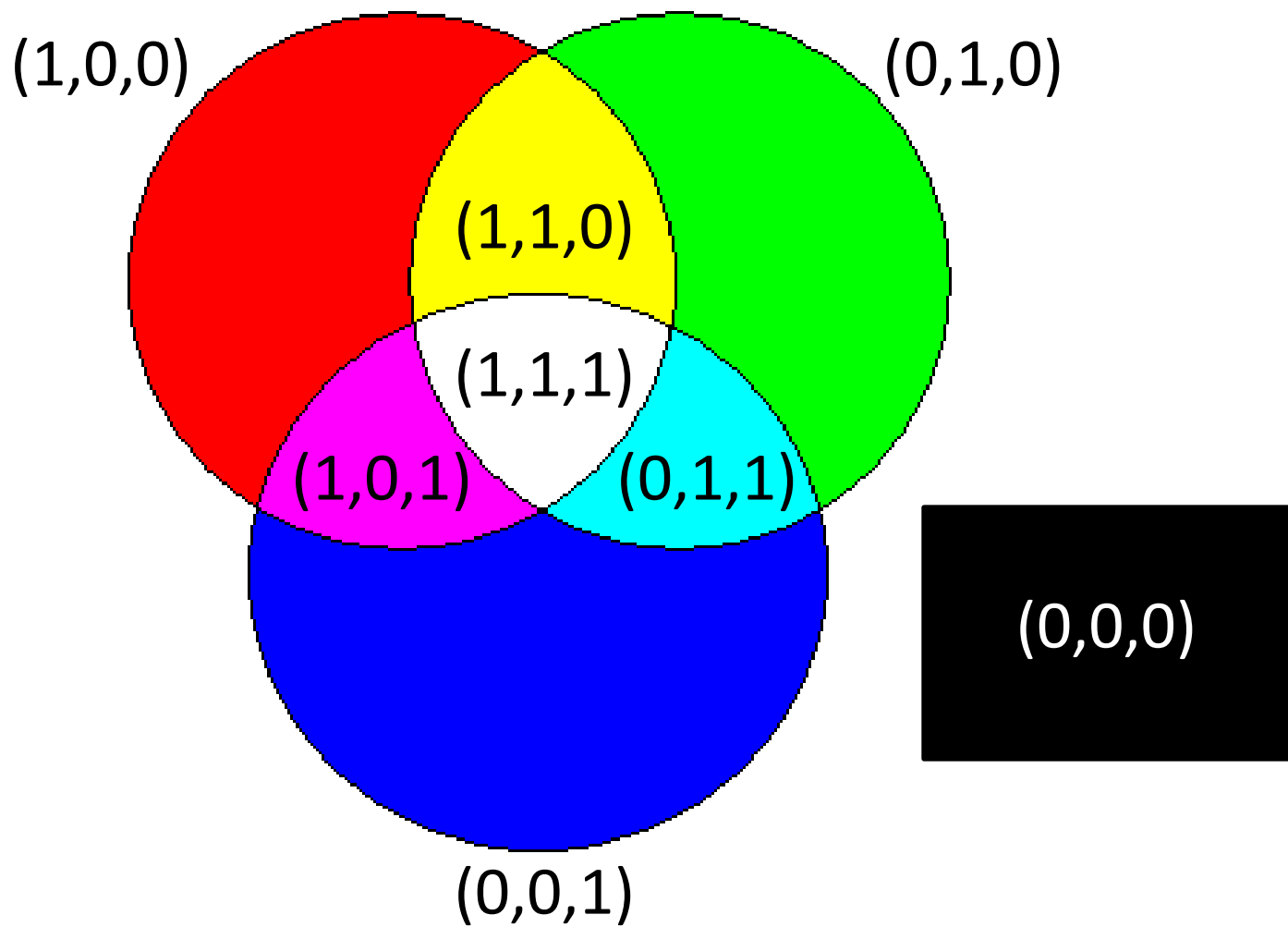
- สี = เวกเตอร์ (R, G, B) เลขแต่ละตัวมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1
 - R บอกระดับความเข้มของแสงสีแดง
 - G บอกระดับความเข้มของแสงสีเขียว
 - B บอกระดับความเข้มของแสงสีน้ำเงิน



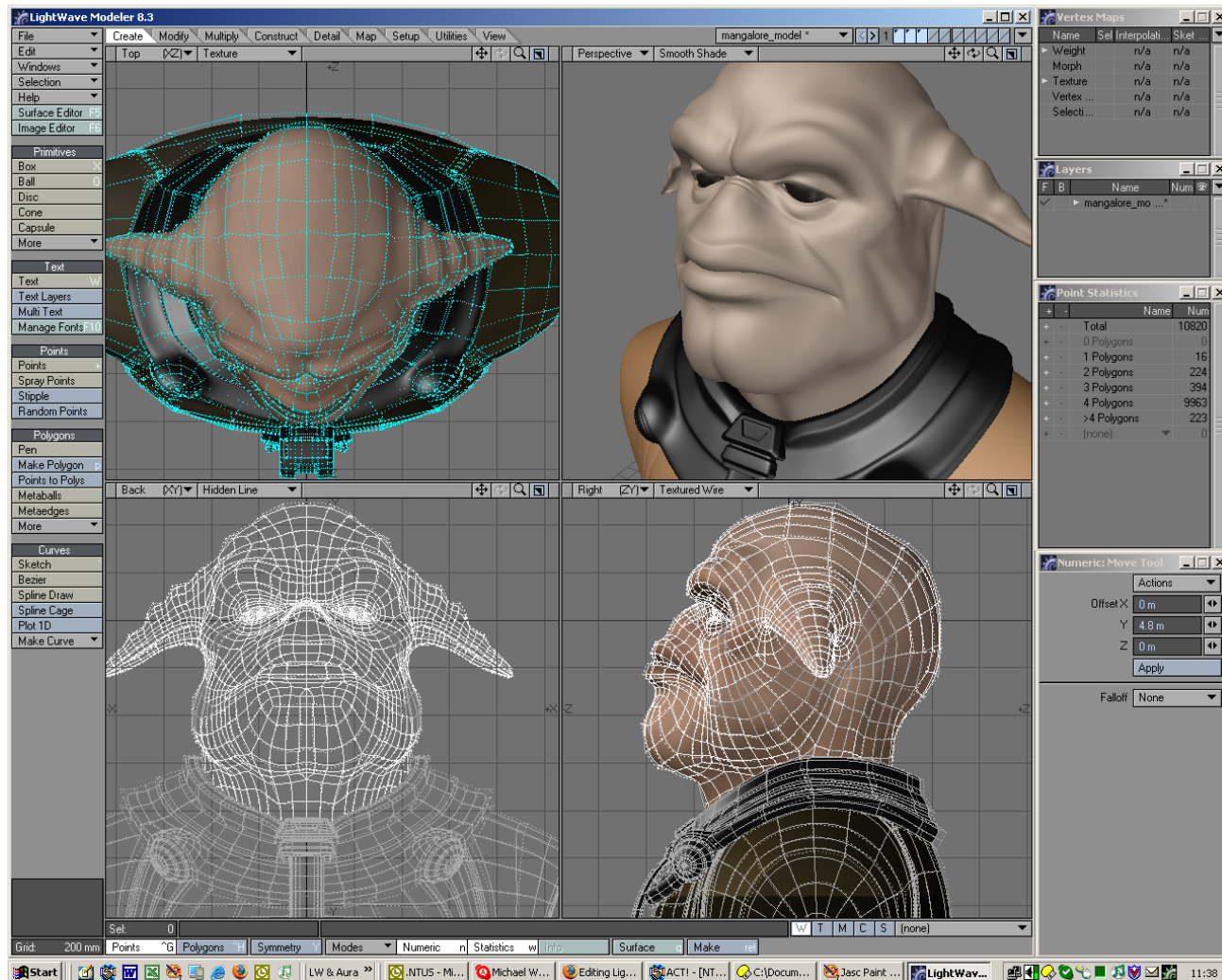
Trichromatic Theory of Vision

- สีที่มนุษย์มองเห็นแบ่งออกเป็นสามส่วน
 - แดง เขียว น้ำเงิน
 - ประสาทสัมผัสของมนุษย์ของแต่ละสีเป็นอิสระจากกัน
 - สีอื่นๆ เกิดจาก การนำสีทั้งสามนี้มาประกอบกัน
- หลักฐาน
 - เซลล์โคนในเรตินามีสามชนิด
 - แต่ละชนิดไวต่อ สีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน ตามลำดับ

สีหลักๆ



แบบจำลอง (Models)



http://en.wikipedia.org/wiki/3D_Models

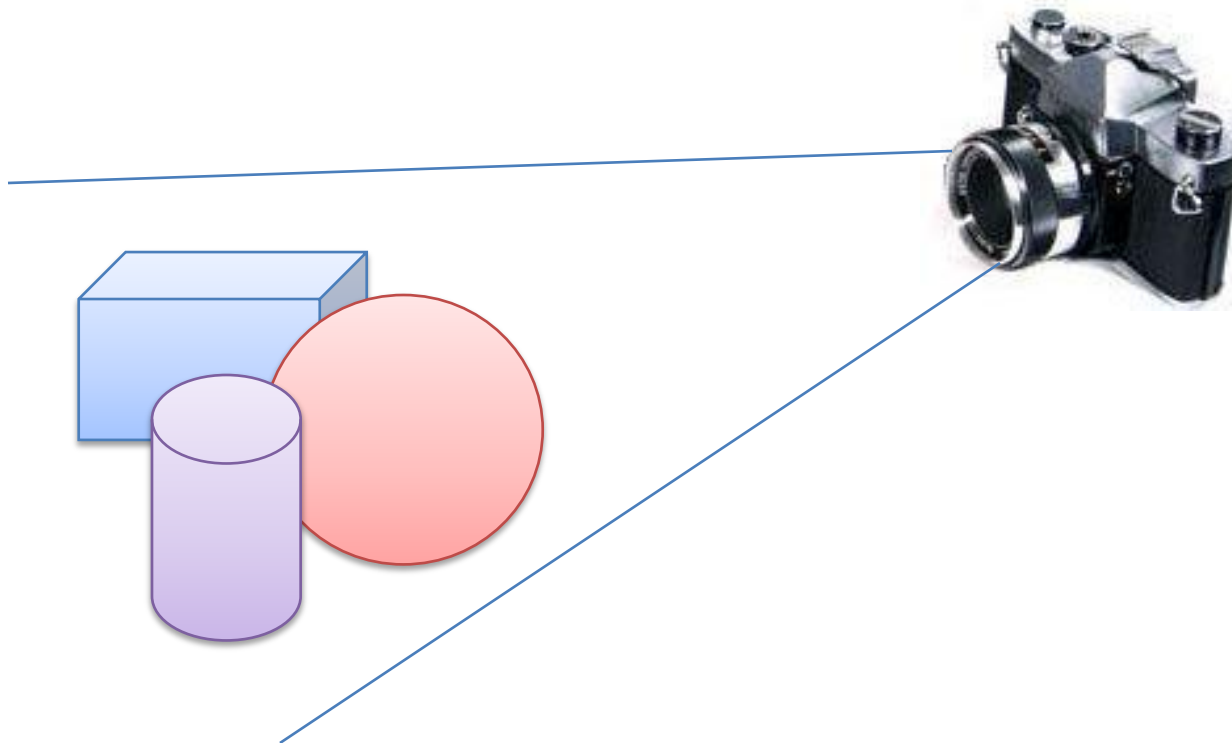
แบบจำลอง (ต่อ)

- รูปร่าง รูปทรง
 - สามเหลี่ยม, ระบาย, ทรงกลม
- สมบัติของพื้นผิว
 - สี
 - สมบัติการสะท้อนแสง: ด้าน, เลื่อม, กระจก, แก้ว
- แสง
- กล้อง
 - ตั้งอยู่ที่ไหน
 - กล้องแบบใด

ฉาก

ถ่ายรูป

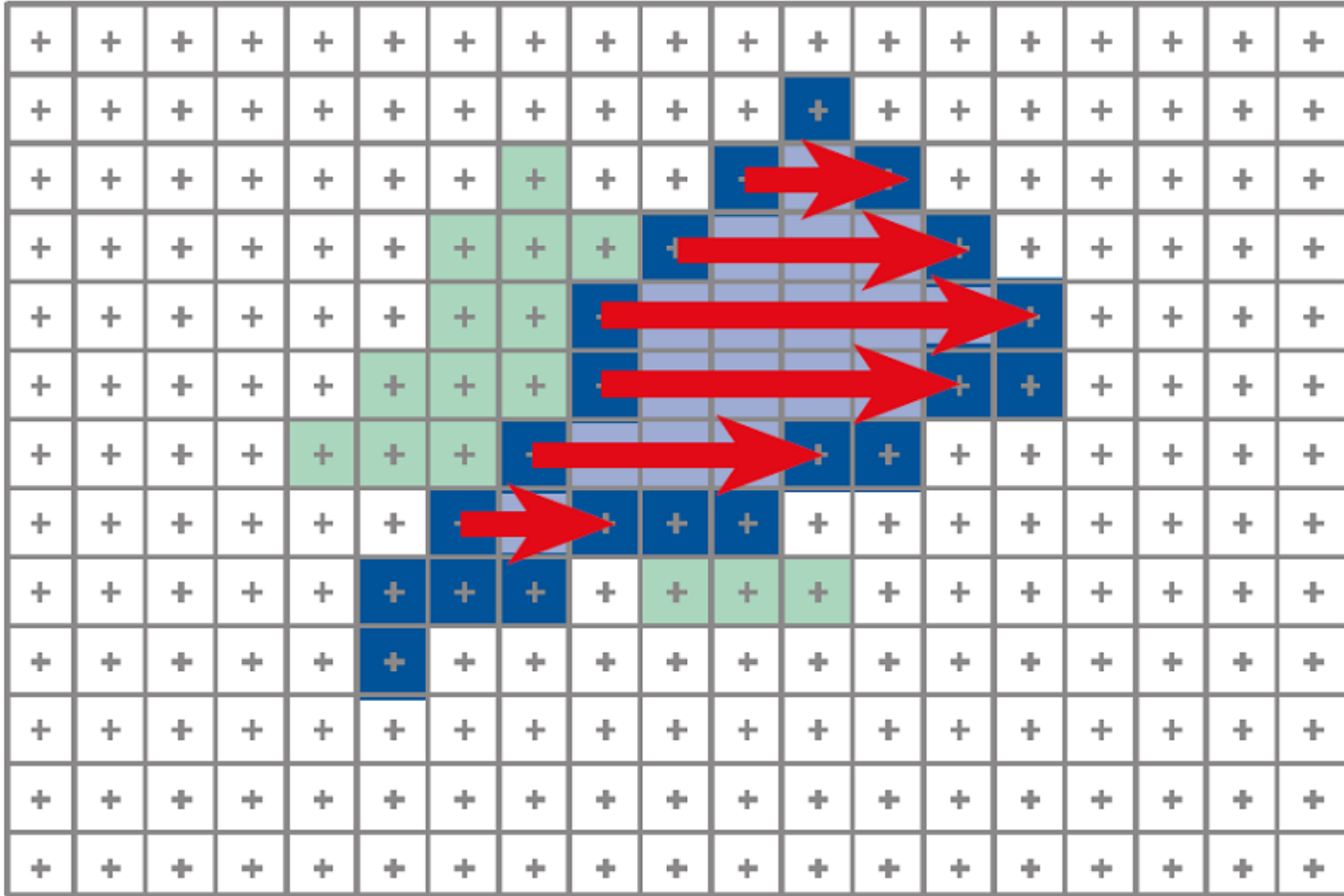
- พูดย่อยๆ การให้แสงและเงาก็เหมือนกับการถ่ายรูป
- แค่ว่าเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์



Graphics Pipeline

- อัลกอริทึมที่ใช้ในการ์ดจอทั่วไป
- สำหรับวัตถุหลายๆ อัน {
 สำหรับพิกเซลทุกพิกเซลที่อยู่ในเงาของวัตถุที่ฉายลงไปบนระนาบ {
 หาค่าความลึกของจุดที่ตรงกับพิกเซลนั้น
 Shade (ให้สีพิกเซลนั้น)
 ปรับสีของพิกเซลถ้าจุดที่อยู่ทีพิกเซลนั้นลึกน้อยกว่าจุดที่ผ่านมา
 }
}

Graphics Pipeline (ต่อ)



Graphics Pipeline (ต่อ)

- ข้อดี
 - จุดแต่ละจุดเป็นอิสระจากกัน
 - ใช้ฮาร์ดแวร์แบบขนานให้สีได้อย่างรวดเร็ว
- ข้อเสีย
 - การจำลองปรากฏการณ์ธรรมชาติยาก
 - เงา
 - Interreflection
 - Caustics

Ray Tracing

- อัลกอริทึมที่เราจะเรียนในเทอมนี้
- ใช้สร้างภาพยนตร์
 - ก้านกล้วย, Monster Inc., Ratatouille

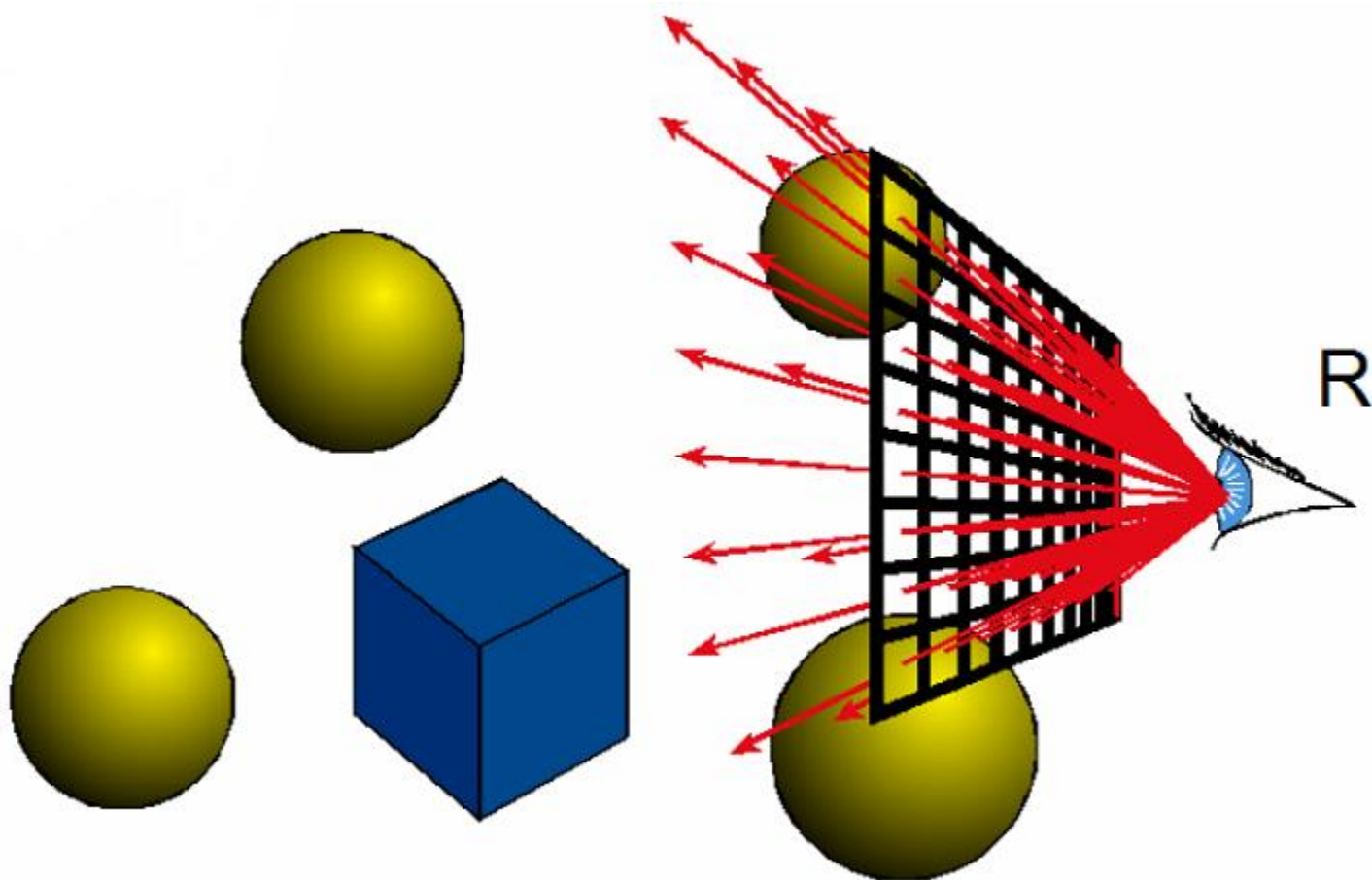


http://en.wikipedia.org/wiki/Ratatouille_%28film%29

Ray Tracing (ต่อ)

- สำหรับพิกเซลทุกๆ พิกเซลบนระนาบ {
 ฉากรังสีจากตาไปยังพิกเซล
 หาจุดบนวัตถุแรกที่รังสีตกกระทบ
 Shade
}

Ray Tracing (ต่อ)



Ray Tracing (ต่อ)

- ข้อดี
 - จำลองปรากฏการณ์ธรรมชาติง่าย
- ข้อเสีย
 - ช้า
 - กำนกัล้วยใช้เวลา **render** นานเป็นเดือนๆ

เวกเตอร์สามมิติ

- ลำดับของจำนวนจริงสามตัว

$$(x, y, z)$$

- สัญลักษณ์: ตัวอักษรตัวพิมพ์เล็กหนา

$$\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{w}$$

- เซตของเวกเตอร์สามมิติ

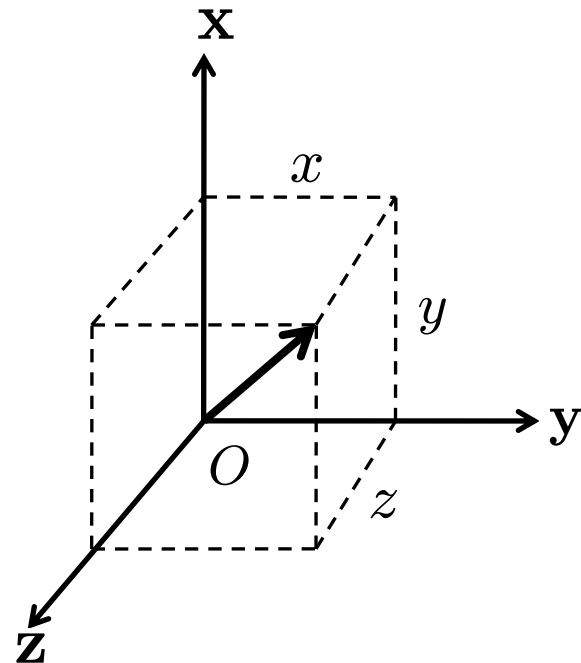
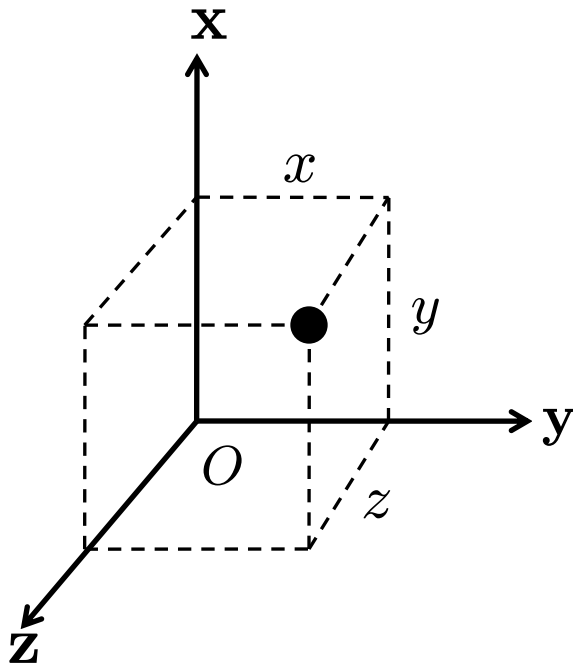
$$\mathbb{R}^3 = \{(x, y, z) : x, y, z \in \mathbb{R}\}$$

- เวกเตอร์พิเศษ

$$\mathbf{x} = (1, 0, 0), \mathbf{y} = (0, 1, 0), \mathbf{z} = (0, 0, 1), \mathbf{0} = (0, 0, 0)$$

เวกเตอร์สามมิติ (ต่อ)

- ความหมาย
 - จุดในสามมิติ
 - ทิศทางในสามมิติ



ปฏิบัติการบนเวกเตอร์สามมิติ

- กำหนดให้

$$\mathbf{u} = (x_1, y_1, z_1)$$

$$\mathbf{v} = (x_2, y_2, z_2)$$

- การบวกและลบเวกเตอร์

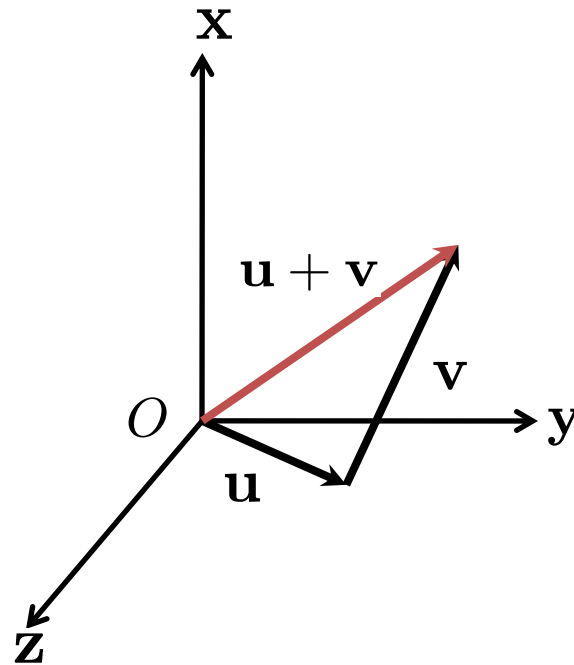
$$\mathbf{u} + \mathbf{v} = (x_1 + x_2, y_1 + y_2, z_1 + z_2)$$

- การคูณเวกเตอร์ด้วยสเกลาร์

$$c\mathbf{u} = (cx_1, cx_2, cx_3)$$

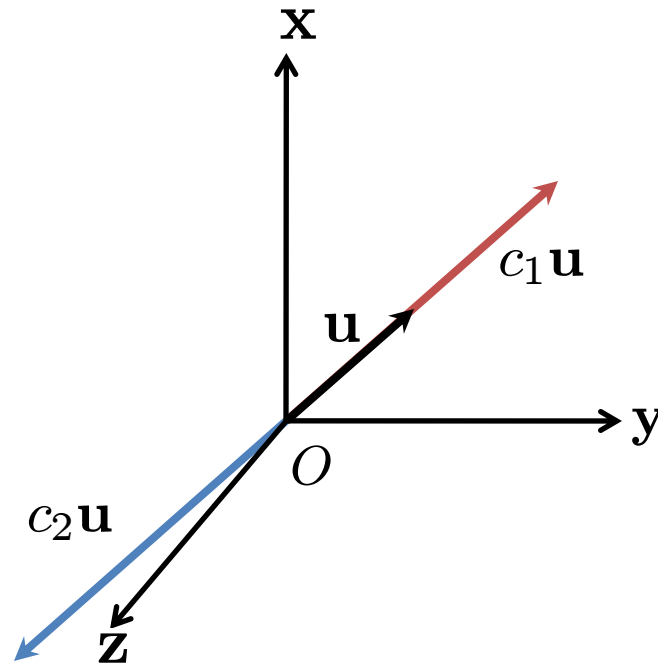
ปฏิบัติการบนเวกเตอร์สามมิติ (ต่อ)

- การบวก = เอาท้ายต่อหัว



ปฏิบัติการบนเวกเตอร์สามมิติ (ต่อ)

- การคูณด้วยสเกลาร์ = การยืด/หด



Linear Combination

- ให้ $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_n$ เป็นเวกเตอร์ใดๆ
และ $c_1, c_2, \dots, c_n$ คือจำนวนจริงใดๆ

เราเรียก

$$c_1\mathbf{v}_1 + c_2\mathbf{v}_2 + \dots + c_n\mathbf{v}_n$$

ว่า **linear combination** ของ $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_n$

Linear Combination (ต่อ)

- เวกเตอร์สามมิติทุกเวกเตอร์เป็น **linear combination** ของ **$\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$, และ $\mathbf{z}$**

$$(x, y, z) = x(1, 0, 0) + y(0, 1, 0) + z(0, 0, 1) = x\mathbf{x} + y\mathbf{y} + z\mathbf{z}$$

Span

- ถ้า $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_n$ เป็นเวกเตอร์ใดๆ แล้ว

เราเรียกเซต

$$\{c_1\mathbf{v}_1 + c_2\mathbf{v}_2 + \dots + c_n\mathbf{v}_n : c_1, c_2, \dots, c_n \in \mathbb{R}\}$$

ว่า **span** ของ $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_n$

Span (ต่อ)

- Span ของ $\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$, และ $\mathbf{z}$ มีค่าเท่ากับ $\mathbb{R}^3$
- Span ของ $\mathbf{x}$ มีค่าเท่ากับแกน X
- Span ของ $\mathbf{y}$ มีค่าเท่ากับแกน Y
- Span ของ $\mathbf{z}$ มีค่าเท่ากับแกน Z
- Span ของ $\mathbf{x}$ และ $\mathbf{y}$ มีค่าเท่ากับระนาบ XY
- Span ของ $\mathbf{x}$ และ $\mathbf{z}$ มีค่าเท่ากับระนาบ XZ
- Span ของ $\mathbf{y}$ และ $\mathbf{z}$ มีค่าเท่ากับระนาบ YZ

Linear Dependence

- เรากล่าวว่า $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_n$

เป็นกลุ่มของเวกเตอร์ที่ **linearly dependent**

ถ้ามีสเกลาร์ $c_1, c_2, \dots, c_n$ ที่มีตัวใดตัวหนึ่งมีค่าไม่เท่ากับ 0
ที่ทำให้

$$c_1 \mathbf{v}_1 + c_2 \mathbf{v}_2 + \dots + c_n \mathbf{v}_n = \mathbf{0}$$

Linear Independence

- ตรงข้ามกับ linear dependence
- เรากล่าวว่า $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_n$

เป็นกลุ่มของเวกเตอร์ที่ linearly independent

ถ้าค่า $c_1, c_2, \dots, c_n$ ที่ทำให้

$$c_1 \mathbf{v}_1 + c_2 \mathbf{v}_2 + \dots + c_n \mathbf{v}_n = \mathbf{0}$$

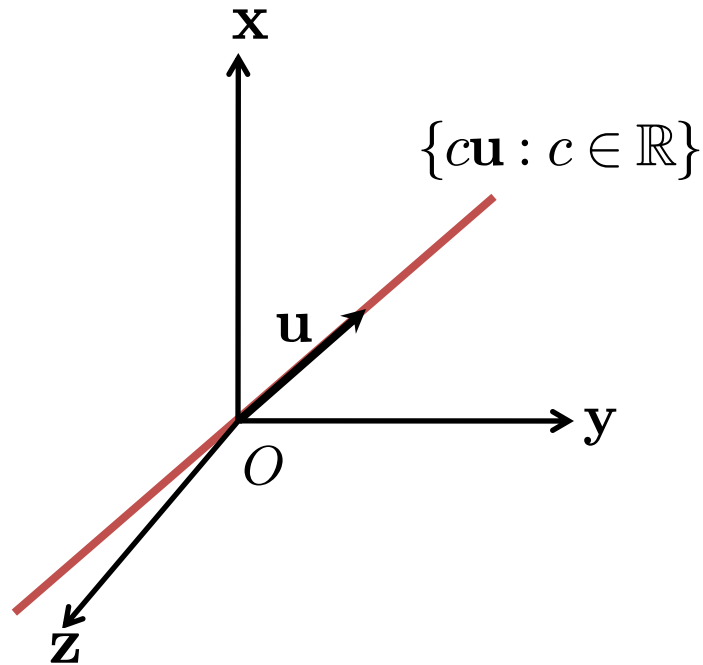
คือ $c_1 = c_2 = \dots = c_n = 0$ เท่านั้น

Linear Independence (ต่อ)

- $\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$, และ $\mathbf{z}$ --- linearly independent
- $(1,2,0)$ และ $(2,4,0)$ --- linearly dependent
เพราะ $2*(1,2,0) - (2,4,0) = (0,0,0)$
- $(1,0,1)$, $(2,3,0)$, $(2,1.5,1)$ --- linearly dependent
เพราะ $(1,0,1) + 0.5*(2,3,0) - (2,1.5,1) = (0,0,0)$
- $(0,0,0)$ --- linearly dependent
เพราะ $c(0,0,0) = (0,0,0)$ สำหรับค่า c ใดๆ ที่ไม่เท่ากับ 0

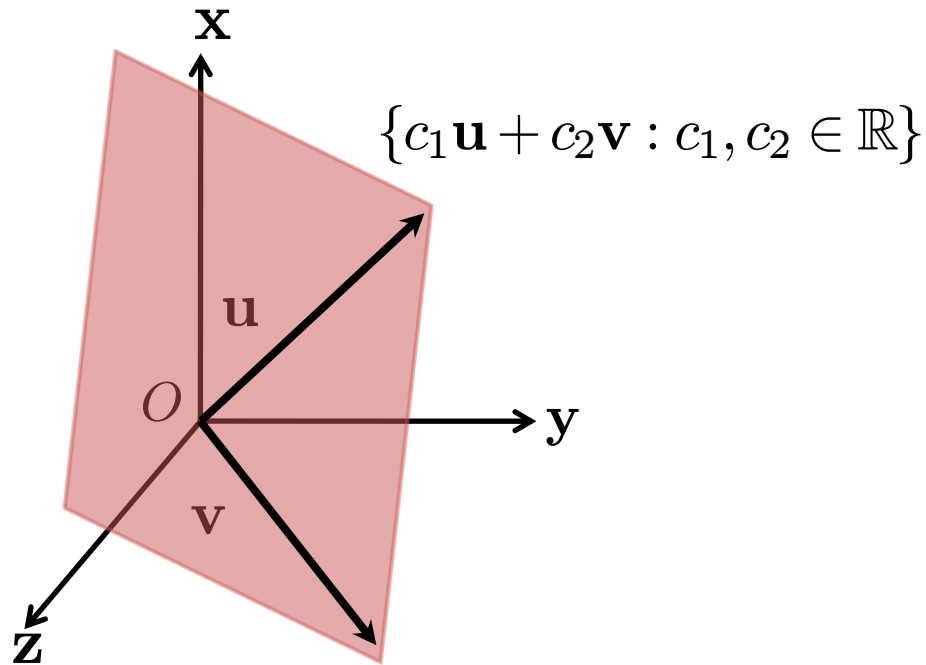
เส้นตรง

- ถ้า $\mathbf{u} \neq \mathbf{0}$ แล้ว span ของ $\mathbf{u}$ คือเส้นตรงที่ผ่านจุด O และ $\mathbf{u}$



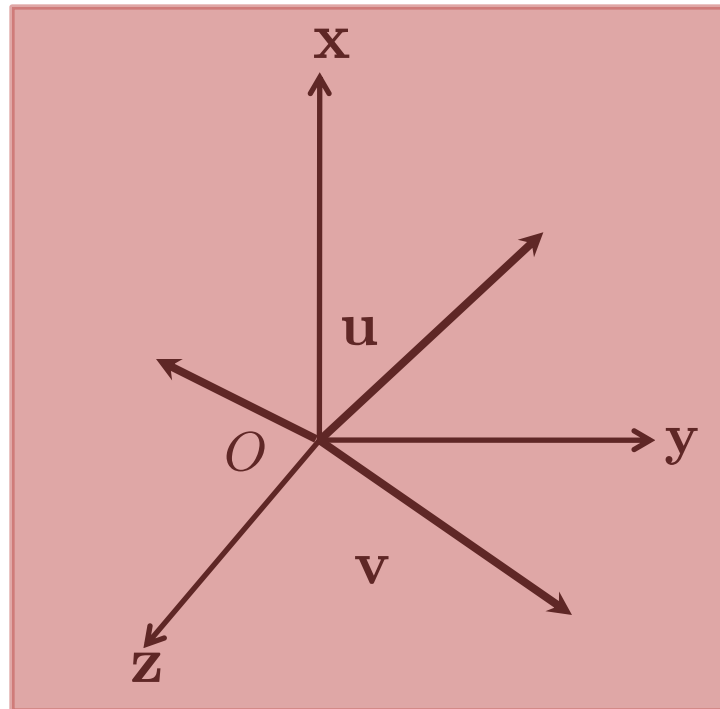
ระนาบ

- ถ้า $\mathbf{u}$ และ $\mathbf{v}$ เป็นเวกเตอร์ที่ **linearly independent** กันแล้ว **span** ของ $\mathbf{u}$ และ $\mathbf{v}$ คือระนาบที่ผ่านจุด $O, \mathbf{u}$, และ $\mathbf{v}$



ปริภูมิเวกเตอร์

- ถ้า $\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$, และ $\mathbf{w}$ เป็นเวกเตอร์ที่ linearly independent กัน แล้ว span ของ $\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$, และ $\mathbf{w}$ เซตของเวกเตอร์สามมิติทั้งหมด



$$\{c_1\mathbf{u} + c_2\mathbf{v} + c_3\mathbf{w} : c_1, c_2, c_3 \in \mathbb{R}\}$$

Basis

- ถ้า **span** ของ **u, v, และ w**

มีค่าเท่ากับเซตของเวกเตอร์สามมิติทั้งหมด

เราเรียก **u, v, และ w** ว่าเป็น **basis** ของปริภูมิเวกเตอร์สามมิติ

Basis (ต่อ)

- $\mathbf{x}$, $\mathbf{y}$, และ $\mathbf{z}$ เป็น basis ของปริภูมิเวกเตอร์สามมิติ
- $(1,1,0)$, $(0,1,1)$, และ $(1,0,1)$ ก็เป็น basis
- แต่ $(1,0,1)$, $(2,3,0)$, $(2,1.5,1)$ ไม่ใช่
เพราะมันไม่ linearly independent

ผลคูณสเกลาร์

- ผลคูณสเกลาร์ (dot product)

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2$$

- ขนาดเวกเตอร์

$$\|\mathbf{u}\| = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} = (\mathbf{u} \cdot \mathbf{u})^{\frac{1}{2}}$$

- สมบัติต่างๆ

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{v} \cdot \mathbf{u}$$

$$\mathbf{u} \cdot (\mathbf{v} + \mathbf{w}) = \mathbf{u} \cdot \mathbf{v} + \mathbf{u} \cdot \mathbf{w}$$

$$\mathbf{u} \cdot (c\mathbf{v}) = c(\mathbf{u} \cdot \mathbf{v})$$

$$\|\mathbf{u} + \mathbf{v}\|^2 = \|\mathbf{u}\|^2 + \|\mathbf{v}\|^2 + 2(\mathbf{u} \cdot \mathbf{v})$$

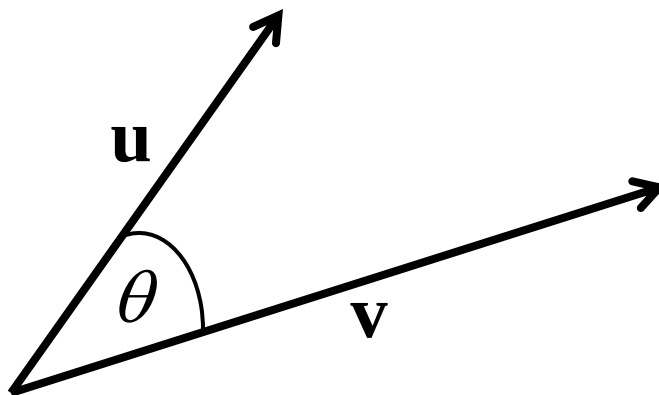
$$\|c\mathbf{u}\| = c\|\mathbf{u}\|$$

ผลคูณสเกลาร์ (ต่อ)

- สมบัติ

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \|\mathbf{u}\| \|\mathbf{v}\| \cos \theta$$

เมื่อ θ คือมุมระหว่าง $\mathbf{u}$ กับ $\mathbf{v}$



- $\mathbf{u}$ กับ $\mathbf{v}$ ตั้งฉากกันก็ต่อเมื่อ $\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = 0$

เวกเตอร์หนึ่งหน่วย

- เวกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากับ 1
- $\|\mathbf{u}\| = 1$
- ถ้า $\mathbf{u}$ เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยแล้ว

$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \|\mathbf{v}\| \cos \theta$ คือความยาวของ $\mathbf{v}$ เมื่อแตกแรงไปในทิศของ $\mathbf{u}$

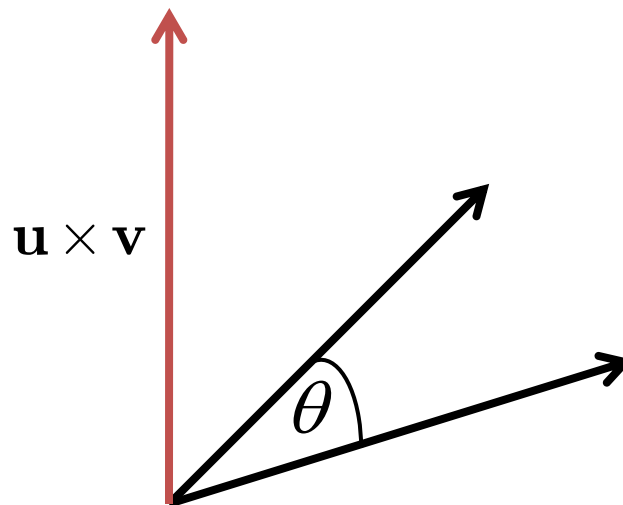
ผลคูณเวกเตอร์

- ผลคูณเวกเตอร์ (cross product)

$$\begin{aligned}\mathbf{u} \times \mathbf{v} &= (y_1 z_2 - y_2 z_1, z_1 x_2 - z_2 x_1, x_1 y_2 - x_2 y_1) \\ &= (y_1 z_2 - y_2 z_1)\mathbf{x} + (z_1 x_2 - z_2 x_1)\mathbf{y} + (x_1 y_2 - x_2 y_1)\mathbf{z} \\ &= \begin{vmatrix} \mathbf{x} & \mathbf{y} & \mathbf{z} \\ x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \end{vmatrix}\end{aligned}$$

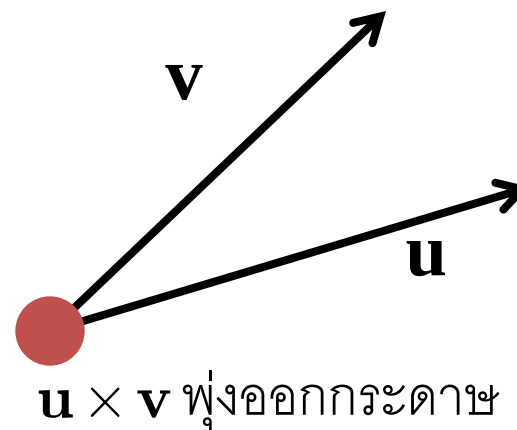
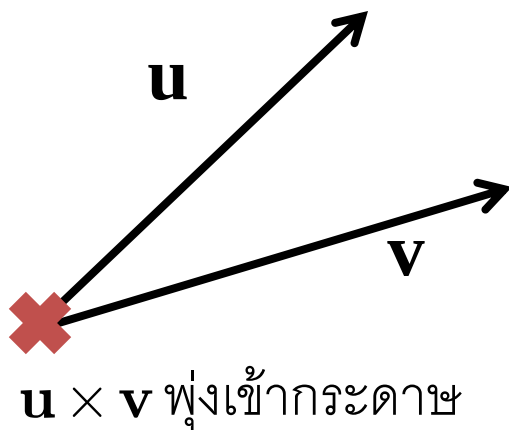
- $\mathbf{u} \times \mathbf{v}$ ตั้งฉากกับทั้ง $\mathbf{u}$ และ $\mathbf{v}$

- $\|\mathbf{u} \times \mathbf{v}\| = \|\mathbf{u}\| \|\mathbf{v}\| \sin \theta$



ผลคูณเวกเตอร์ (ต่อ)

- ทิศทางของ $\mathbf{u} \times \mathbf{v}$ คิดตามกฎมือขวา
 - เอามือขวาชี้ไปตามทิศของ $\mathbf{u}$ ให้ฝ่ามือหันไปทาง $\mathbf{v}$
 - $\mathbf{u} \times \mathbf{v}$ ตั้งฉากกับระนาบที่นิยามโดย $\mathbf{u}$ กับ $\mathbf{v}$ พุ่งออกไปฝั่งที่นิ้วโป้งขวาอยู่



ผลคูณเวกเตอร์ (ต่อ)

- สมบัติต่างๆ

$$\mathbf{u} \times \mathbf{v} = -\mathbf{v} \times \mathbf{u}$$

$$\mathbf{u} \times (\mathbf{v} + \mathbf{w}) = \mathbf{u} \times \mathbf{v} + \mathbf{u} \times \mathbf{w}$$

$$\mathbf{u} \times (r\mathbf{v}) = (r\mathbf{u}) \times \mathbf{v} = r(\mathbf{u} \times \mathbf{v})$$